

Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi pada Proses *Heat Treatment Quenching* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro *Friction wedge* AISI 1340

Fahmi Aziz Husain, Yuli Setiyorini

Jurusan Teknik Material & Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: yulisetiyorini@yahoo.com

Abstrak— Permasalahan yang sering timbul dalam pembuatan *friction wedge* AISI 1340 adalah adanya *Crack* yang terjadi setelah proses *quenching* dalam pembuatan *friction wedge*. Kemungkinan penyebab kegagalan yang terjadi yakni kurang tepatnya perlakuan panas yang dilakukan. Oleh karena itu perlu adanya suatu penelitian untuk mencari perlakuan panas yang tepat. .

Metodologi yang digunakan adalah *heat treatment quenching* dengan variasi temperatur austenisasi 830°C, 850°C, 870°C dan 920°C dengan waktu penahanan 20 menit, kemudian didinginkan cepat dengan media pendingin oli.

Hasil dari penelitian ini adalah semua spesimen hasil treatment memenuhi standar kekerasan *friction wedge*. Nilai kekerasan naik seiring naiknya temperatur austenisasi. Hasil paling baik didapat dari spesimen *heat treatment quenching* di media pendingin oli pada temperatur austenisasi 830°C dengan nilai kekerasan 458 BHN, tidak ada *Crack* yang terjadi dan memiliki nilai elongasi yang paling rendah yaitu 0,43%, sehingga bisa tahan pada temperatur kerja daripada spesimen yang lain. Struktur mikro yang dihasilkan berupa martensit dan austenit sisa. Dari pengujian XRD didapatkan fasa Fe_{1.91}C_{0.09} (Martensit BCT) dan Fe_{15.1}C (Austenit FCC).

Kata Kunci— AISI 1340, *Heat treatment*, *Quenching*, Temperatur, Struktur Mikro, Sifat Mekanik.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan baja di Indonesia sangatlah luas. Banyak perusahaan yang memproduksi baja untuk berbagai kebutuhan, salah satunya adalah PT Barata Indonesia, sebuah industri yang memproduksi komponen kereta api, komponen pada industri semen, pabrik gula dan sebagainya. Salah satu komponen kereta api yang diproduksi oleh PT Barata Indonesia adalah *friction wedge*. *Friction wedge* merupakan peredam gesekan antara *bolster* dan *sideframe* pada roda kereta api. Material penyusun dari *friction wedge* ini adalah AISI 1340.

Permasalahan yang sering timbul adalah ketika *friction wedge* diquench, ada *Crack* yang terjadi. Hal ini menyebabkan kerugian bagi perusahaan, karena jika terjadi *Crack* maka produksi *friction wedge* tidak dapat

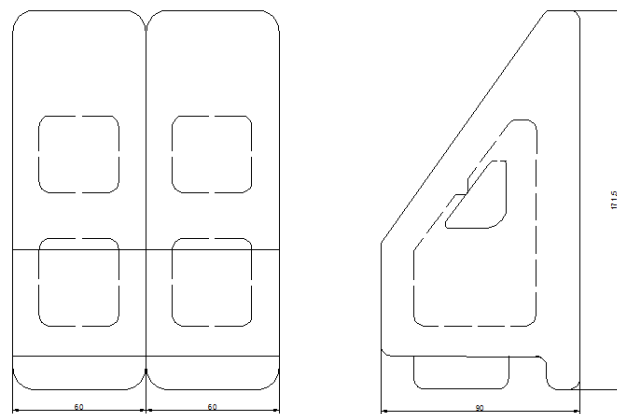
dilanjutkan ke proses tempering. Sehingga perusahaan harus mengulang produksi dari proses *casting*. hal ini membuat kerugian dari segi biaya dan waktu produksi pada industri manufaktur.

Salah satu kemungkinan yang terjadi adalah terjadinya quench *Cracking* saat dilakukan proses *hardening* [1]. Beberapa penyebab *quench Cracking*, yaitu pemanasan yang tidak seragam, pemanasan terlalu tinggi, pemilihan media pendingin yang kurang tepat, dan sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mencari solusi perlakuan panas yang tepat pada *friction wedge* AISI1340 agar bisa memenuhi standar yang telah ditentukan.

II. METODE PENELITIAN

A. Preparasi Spesimen *Friction wedge* 1340

Sampel uji baja AISI 1340 Q&T mengacu pada standard produksi PT Barata Indonesia seperti gambar 1.



Gambar. 1. Standar *Friction wedge*

Kemudian *friction wedge* tersebut dipotong menjadi 2 bagian. Disiapkan 2 jenis spesimen *friction wedge* yaitu as cast yang belum mengalami proses treatment dan as quench hasil dari proses treatment perusahaan sebagai pembandingan. Komposisi kimia dari *friction wedge* ini bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.
Komposisi Sampel AISI 1340

Unsur	Sample as quench (Crack) (%)	Sample as cast (%)	Standard AISI 1340 (%)
Carbon (C)	0,31	0,46	0,38 - 0,43
Mangan (Mn)	1,61	1,76	1,60 - 1,90
Ferrous (Fe)	Balanced	Balanced	Balanced
Posphour (P)	0,024	0,016	Max 0,035
Sulphur (S)	0,016	0,008	Max 0,040
Silicon (Si)	0,35	0,27	0,15 - 0,35
Chromium (Cr)	0,13	0,13	-
Nickel (Ni)	0,14	0,14	-
Vanadium (V)	0,006	0,004	-

B. Proses Heat Treatment

Dipersiapkan dua buah *Friction wedge* baja AISI 1340 Q&T dengan kondisi belum mengalami heat treatment (as cast). Dipersiapkan juga *friction wedge* dari proses heat treatment di PT Barata Indonesia yang mengalami *Crack* (as quench) sebagai pembanding. Kemudian *Friction wedge* as cast dipotong menjadi dua bagian simetris pada masing-masing *Friction Wedge*. Sehingga didapatkan empat buah spesimen dengan dimensi yang sama. Kemudian dilakukan proses heat treatment. Kemudian dilakukan austenitisasi dengan memanaskan baja ke furnace dengan temperatur 830 °C, 850 °C, 870 °C dan 920 °C. Ketika mencapai temperatur austenitisasi, ditahan selama 20 menit pada temperatur tersebut. Kemudian spesimen dikeluarkan dengan cepat dan didinginkan dengan dicelupkan ke dalam oli sampai temperatur kamar.

C. Pengujian Non Destructive Test.

NDT yang digunakan adalah penetrant test untuk melihat kemungkinan adanya *Crack* setelah proses *treatment* sesuai standar ASTM E 165.

D. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada spesimen. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikroskop Olympus GX71 di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan perbesaran 1000x. Etsa menggunakan 2% nital.

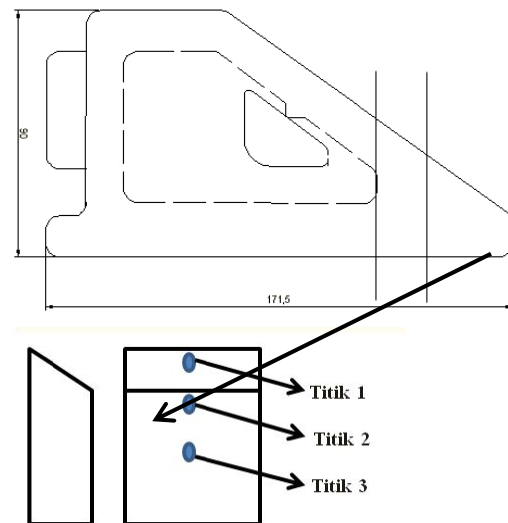
E. Pengujian Kekerasan.

Uji kekerasan untuk mengetahui kekerasan spesimen, dilakukan dengan metode brinell sesuai standar ASTM E10

dengan beban 187,5kgf dan diameter bola indentor 2,5mm. Pengujian dilakukan menggunakan alat Wolpert UH930 di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Dari hasil uji akan di dapatkan diameter indentasi. Kemudian kekerasan brinell (BHN) dihitung dengan persamaan berikut :

$$HBS \text{ or } HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Kekerasan dilakukan pada 5 titik di permukaan untuk mengetahui kekerasan pada permukaan. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada kedalaman. Dilakukan pengujian kekerasan pada 3 titik yang berbeda pada tiap spesimen. Titik pertama pada tepi spesimen, dilanjutkan titik kedua lebih kedalam dari titik pertama, hingga titik ke tiga. Ilustrasi spesimen yang dipotong dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar. 2. Ilustrasi tempat pemotongan spesimen untuk uji kekerasan dan titik indentasi untuk distribusi kekerasan.

F. Pengujian Thermomechanical Analysis (TMA)

Pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar ASTM E831. Pengujian ini menggunakan alat merk Mettler Toledo di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik elongation suatu benda terhadap temperatur. Perubahan volume yang disebabkan oleh proses fisik atau kimia dan berhubungan dengan perubahan temperatur umumnya berkisar 20-1400° C. Dalam penelitian ini dilakukan pemanasan 340°C, karena temperatur kondisi *real railroad wheel* bekerja antara 30°C sampai 300°C

G. Pengujian XRD

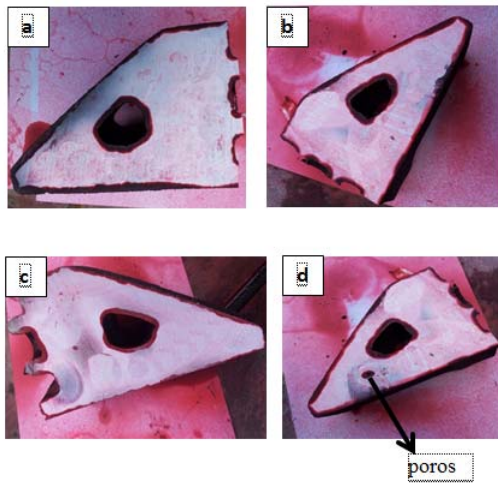
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk setelah proses *treatment*. Pengujian XRD

menggunakan alat XRD PW 3040/60 X'Pert PRO Instrumen Enclosure 10kV di Laboratorium Karakterisasi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Non Destructive Test.

Crack bisa teridentifikasi dari perbedaan warna, biasanya warna merah akan keluar dari dalam *crack* ketika setelah diangkat oleh developer. Bentuk *crack* biasanya memanjang. Jika penerangan selama pengetesan kurang memadai maka hal tersebut bisa menyebabkan indikasi *crack* tidak terbaca [2].



Gambar. 3. Hasil NDT pada spesimen treatment quenching dengan temperatur austenisasi (a)830°C, (b)850°C, (c)870°C dan (d)920°C

Dari gambar 3.(a), 3.(b) dan 3.(c) terlihat bahwa tidak ada penetrant warna merah akan keluar dari dalam *crack* setelah diberi developer yang berwarna putih. Hal ini menunjukkan tidak adanya *crack* setelah proses quenching pada spesimen 830°C, 850°C dan 870°C. Pada gambar 3.(d) terdapat penetrant warna merah yang terlihat pada developer berbentuk seperti lingkaran. Namun lingkaran tersebut bukan merupakan sebuah *crack* yang terjadi setelah proses heat treatment quenching. Penetrant yang terlihat tersebut merupakan poros yang sudah ada saat spesimen belum di quench. Oleh karena itu, bisa dilihat bahwa pada spesimen hasil proses quenching media pendingin oli dengan temperatur austenisasi 920°C juga tidak terjadi *crack*.

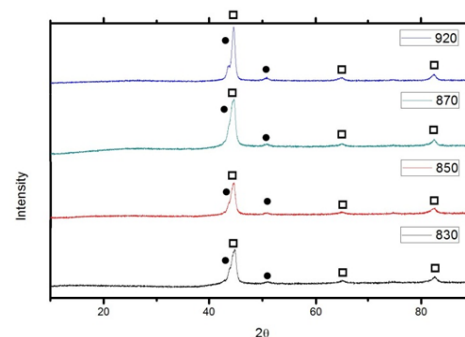
B. Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk melihat fasa yang terbentuk setelah quenching. Hasil dari uji XRD dapat dilihat pada gambar 4.

Dari hasil uji (X-Ray Diffraction) XRD didapatkan puncak-puncak difraksi yang kemudian diidentifikasi struktur dan komposisi dengan software *Highscore plus*. Hasil dari pengujian XRD dapat dilihat pada gambar 4. Dari puncak-puncak difraksi tersebut dapat diidentifikasi bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe1.91 C0.09 yang biasa

disebut dengan martensit dengan struktur BCT (*Body centered tetragonal*). Martensit dihasilkan dari austenit yang bertransformasi. Pada temperature media pendingin yang sangat rendah austenite berubah dari FCC menjadi BCC tetapi karena didalam austenite masih terdapat banyak karbon dan karbon tidak dapat berdifusi lagi akibat waktu pendinginan yang sangat cepat maka struktur BCC tidak dapat tercapai. Salah satu sel rusuk satuannya lebih panjang daripada yang lain. Sehingga membentuk struktur kristal baru menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*) [3].

Selain fasa martensit, didapatkan fasa Fe15.1 C yang biasa disebut dengan austenit. Fasa tersebut merupakan austenit sisa yaitu austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit selama proses *quenching*. Austenit sisa terjadi ketika baja tidak di quench hingga temperatur M_f (*martensit finish*) sehingga tidak terbentuk 100% martensit. Pada baja paduan dengan kadar karbon lebih dari 0.3%, temperatur M_f berada di bawah temperatur kamar. Oleh karena itu, terbentuk austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit yaitu austenit sisa pada *quenching* sampai temperatur kamar [4].



Gambar. 4. Hasil pengujian XRD
Keterangan : □ : Fe1.91 C0.09 (Martensit BCT)
● : Fe15.1 C (Austenit)

C. Pengujian Metalografi

Pengujian dilakukan untuk melihat struktur mikro di permukaan dan struktur mikro *cross-section*. Hasil pengujian metalografi di permukaan dapat dilihat pada gambar 5. Sedangkan hasil pengujian metalografi *cross section* hasil treatment dapat dilihat pada gambar 6. Pengujian metalografi ini menggunakan etsa nital 2% dengan perbesaran 1000x.

Gambar 5(a) dan 6(a) menunjukkan struktur mikro *as cast*, pada gambar tersebut terlihat bahwa struktur mikro spesimen *as cast* di permukaan dan di *cross section* adalah ferrit dan perlit. Sedangkan bulatan hitam merupakan poros hasil proses pengecoran spesimen. Tidak ada perbedaan struktur mikro pada permukaan dan *cross section* spesimen *as-cast*.

Gambar 5(b) dan 6(b) merupakan struktur mikro dari spesimen as quench, pada gambar tersebut terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk adalah martensit yang berwarna gelap dan austenit sisa atau *retained austenite*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada perbedaan presentase martensit. Pada gambar 5(b) terlihat bahwa warna hitam (martensit) yang ada lebih banyak daripada warna hitam pada gambar 6(b). Hal ini menunjukkan presentase martensit yang terbentuk pada permukaan lebih banyak daripada martensit yang terbentuk di daerah *cross section* spesimen.

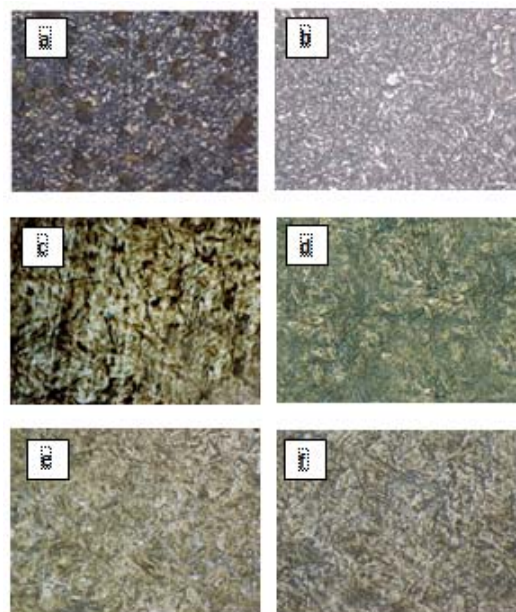
Gambar 5(c), 5(d), 5(e) dan 5(f) menunjukkan struktur mikro di permukaan untuk variasi temperatur austenisasi 830°C, 850°C, 870°C dan 920°C. Sedangkan gambar 6(c), 6(d), 6(e) dan 6(f) menunjukkan struktur mikro di *cross section* untuk variasi temperatur austenisasi 830°C, 850°C, 870°C dan 920°C. Semuanya juga menunjukkan struktur mikro didominasi martensit dan austenit sisa.

Sesuai dengan ASM Metal Handbook Volume 4 untuk *heat treatment* dengan 0.3% karbon struktur mikro permukaan yang terbentuk pada *as quench* adalah 99%.

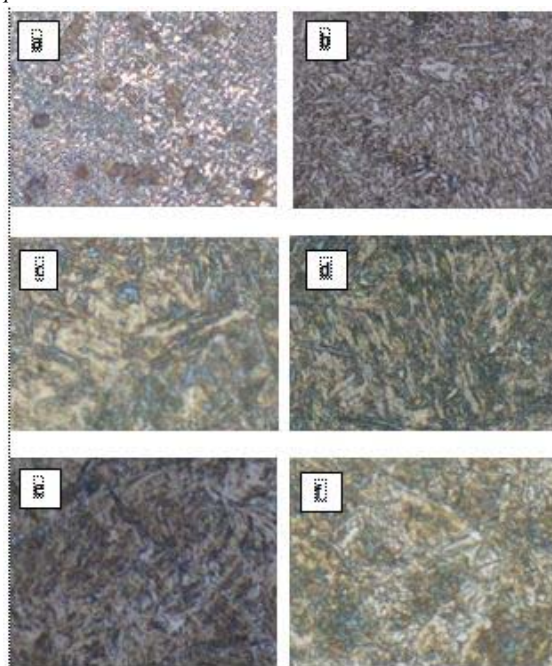
Struktur mikro permukaan spesimen hasil perlakuan panas quenching dengan media pendingin oli yang memiliki 0.4% karbon dengan temperatur austenisasi 830°C adalah 85% martensit sedangkan presentase martensit yang terbentuk pada struktur mikro *cross section* spesimen 830°C adalah 83%.

Pada temperatur austenisasi 850°C martensit yang terbentuk pada struktur mikro permukaan juga 85% dan struktur mikro *cross section* sebanyak 84%. Pada spesimen 870°C terbentuk mendekati 87% martensit di permukaan dan 86% martensit di *cross section*. Pada temperatur 920°C terbentuk 92% martensit di struktur mikro permukaan dan di *cross section* sebanyak 91% martensit.

Struktur martensit ini sangat keras yang merupakan peralihan struktur kristal FCC dari austenit menjadi struktur kristal BCC dari ferrit. Namun karena waktu pendinginan yang relatif cepat sehingga tidak memberikan kesempatan untuk karbon berdifusi keluar dari struktur kristal BCC, menyebabkan struktur kristal BCC yang terdistorsi dan mengalami tegangan yaitu menjadi struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*). Austenit yang tidak sempat berubah menjadi martensit kemudian disebut austenit sisa pada gambar berwarna putih, sedangkan martensit berwarna hitam runcing [5]. *Retained austenite* merupakan austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit selama proses pendinginan cepat [4].



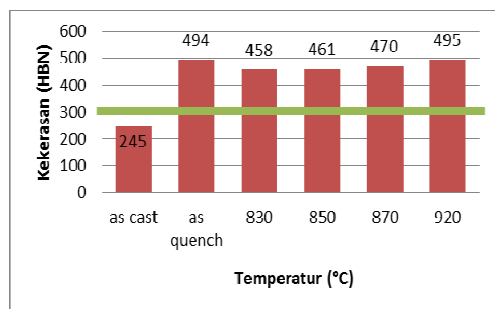
Gambar. 5. Struktur mikro permukaan (a) as cast, (b) as quench (Crack), (c) oil quench 830°C, (d) oil quench 850°C, (e) oil quench 870°C, (f) oil quench 920°C.



Gambar. 6. Struktur mikro *cross-section* (a) oil quench 830°C, (b) oil quench 850°C, (c) oil quench 870°C, (d) oil quench 920°C

D. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode brinell dengan beban 187,5 Kgf dan diameter bola indenter 2,5 mm sesuai dengan standard uji kekerasan Brinell ASTM E 10 2004.



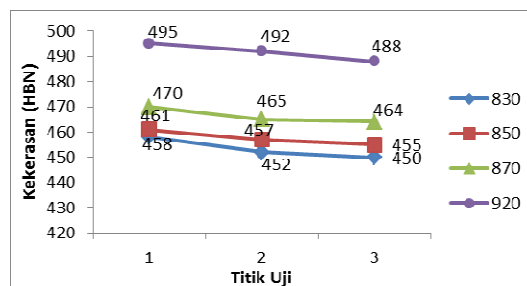
Gambar. 7. Grafik nilai kekerasan pada permukaan spesimen

Pada gambar 4 garis hijau mendatar merupakan garis batas standar kekerasan *friction wedge* (300 BHN). Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa spesimen as quench yang merupakan standar perusahaan memiliki kekerasan 495 BHN pada permukaan. Spesimen *as quench* sebelumnya mengalami pemanasan pada temperatur 920 C dan didinginkan cepat dengan air. Angka ini sudah memenuhi standard yang ditetapkan yaitu 300 BHN akan tetapi terjadi *Crack* pada spesimen tersebut. Spesimen uji tanpa perlakuan (As Cast) memiliki kekerasan 245 BHN pada permukaan, jauh dibawah standar kelayakan produksi.

Pada spesimen yang diberi perlakuan panas *quenching* dengan variasi temperatur yang berbeda dapat dilihat bahwa kekerasan meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Nilai kekerasan terendah didapat dari hasil quencing dari temperatur austenisasi 830°C dan nilai kekerasan tertinggi dari temperatur austenisasi 920°C.

Pada spesimen yang diberikan perlakuan panas berupa hardening dengan didinginkan cepat memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Martensit berperan penting dalam meningkatkan nilai kekerasan. Adanya tegangan akibat dari karbon yang terperangkap ke dalam struktur kristal BCT [6]. Selama pendinginan, terjadi perpindahan panas antara spesimen dengan media pendingin. Ketika di quench pada temperatur rendah, mungkin ada sedikit karbon yang terlarut dalam austenit. Karbon jenuh dan unsur paduan dalam martensit juga kurang. Hal inilah yang mnyebabkan kekerasan material menjadi rendah pada temperatur quench yang rendah [7].

Untuk melihat distribusi kekerasan dilakukan pengujian kekerasan dari tepi spesimen ke bagian tengah spesimen. Pengujian distribusi kekerasan hanya dilakukan pada spesimen yang diberi perlakuan panas quenching dengan variasi temperatur. Hasil dari distribusi kekerasan dapat dilihat pada gambar 5 dimana titik 1 merupakan titik yang dekat dengan permukaan, titik 3 merupakan titik paling jauh dari permukaan.



Gambar. 8. Grafik nilai distribusi kekerasan pada spesimen hasil quenching.

Pada gambar memperlihatkan bahwa pada spesimen dengan temperatur austenisasi 830°C, 850°C, 870°C dan 920°C terjadi penurunan kekerasan dari tepi ke tengah spesimen yang relatif kecil. Perbedaan kekerasan pada spesimen tersebut tidak terlalu signifikan. Dari data kekerasan tersebut terlihat bahwa kekerasan spesimen sama di semua titik. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan presentase martensit yang terbentuk, selain itu bentuk spesimen yang mempunyai rongga di dalam sehingga laju pendinginan di bagian tengah tidak terlalu berbeda dengan laju pendinginan di permukaan.

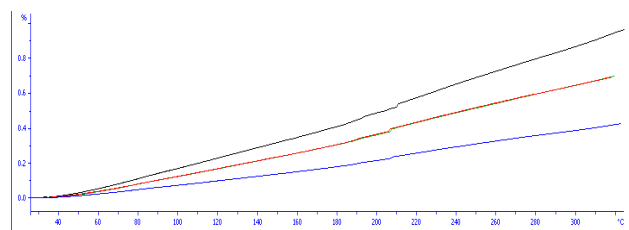
Selain itu berdasarkan hasil perhitungan diameter kritis ideal dengan komposisi kimia *friction wedge* didapatkan 66 mm. Dengan bentuk dan ukuran dimensi *Friction wedge* yang mempunyai kedalaman kurang dari 71mm karena ada rongga di dalamnya, tidak akan membuat distribusi kekerasan pada seluruh sisi spesimen berbeda jauh [8].

E. Pengujian Thermomechanical Analysis (TMA)

Pengujian ini dimaksudkan untuk membandingkan kemampuan baja setelah treatment terhadap *stress thermal* yang bekerja. Hasil pengujian TMA dapat dilihat pada gambar kurva dalam bentuk kurva *elongation* seperti Gambar 9.

Dari Gambar 9 dapat diperoleh hasil elongation berdasarkan kenaikan temperatur, dengan *heat rate* 30°C/menit. Nilai elongation semua spesimen bertambah seiring dengan kenaikan temperatur. Spesimen 920°C memiliki nilai elongasi yang paling tinggi dan spesimen 830°C memiliki nilai elongasi paling rendah. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan struktur mikro yaitu presentase martensit yang terbentuk pada spesimen tersebut. Dari gambar 9 dapat ditransformasikan menjadi tabel 2. Sehingga dapat dilihat detail nilai elongasi pada rate 30°C/menit

Dari Tabel 2 diperoleh nilai *elongation* yang paling tinggi diperoleh pada spesimen *oil quench* dengan temperatur austenisasi 920°C yaitu sebesar 0.96%, sedangkan yang *elongation* paling rendah diperoleh pada spesimen oil quench dengan temperatur austenisasi 830°C yaitu sebesar 0.43%.



ITS COE Laboratory: METTLER

STAR[®] SW 10.00Gambar. 9. Kurva *elongation* dengan temperatur 25°C -300°C.

Keterangan :

— : 920°C
 — : 870°C
 — : 850°C
 — : 830°C

Tabel 2.
 Nilai elongation hasil pengujian TMA

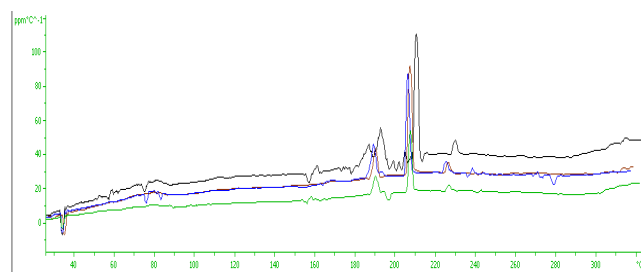
Temperatur Kerja (°C)	Elongation (%)									
	25	55	85	115	145	175	205	235	265	300
830°C	0	0,02	0,06	0,1	0,15	0,20	0,26	0,32	0,37	0,43
850°C	0	0,03	0,1	0,18	0,25	0,33	0,43	0,53	0,61	0,69
870°C	0	0,03	0,11	0,18	0,33	0,44	0,53	0,61	0,61	0,70
920°C	0	0,05	0,15	0,24	0,34	0,45	0,59	0,72	0,83	0,96

Elongasi ini berpengaruh terhadap ketahanan spesimen pada temperatur kerja (300°C). Semakin tinggi elongasi maka spesimen tersebut mudah mengalami perubahan dimensi, hal ini menyebabkan spesimen dengan nilai elongasi tinggi memiliki ketahanan yang rendah pada temperatur kerja. Sehingga spesimen yang baik dan tahan temperatur kerja *friction wedge* adalah spesimen dengan nilai elongasi yang rendah.

Selain hasil di atas pada pengujian TMA juga didapatkan grafik nilai koefisien ekspansi termal (ppm/°C) berdasar temperatur (°C), grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 10.

Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai koefisien ekspansi paling tinggi adalah spesimen dengan temperatur austenitasi 920°C, sedangkan nilai koefisien ekspansi termal paling rendah adalah spesimen dengan temperatur austenitasi 830°C.

Dari grafik tersebut ekspansi termal mencapai peak pada temperatur 200-220 °C. Hal ini tentu karena pengaruh struktur yang metastabil, yaitu martensit. Puncak yang terjadi pada range 200-220 °C ini adalah temperatur dimana martensit mulai berdekomposisi, atau batas pembentukan awal martensit (Ms). Apabila digunakan dalam aplikasi *friction wedge* yang membutuhkan temperatur lebih dari 200°C bisa terjadi dekomposisi martensit [9].



ITS COE Laboratory: METTLER

STAR[®] SW 10.00

Gambar. 10. Grafik nilai koefisien ekspansi termal (ppm/°C) berdasar temperatur (°C).

Keterangan :

— : 920°C
 — : 870°C
 — : 850°C
 — : 830°C

IV. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Semua spesimen hasil treatment memenuhi standar kekerasan *friction wedge*. Nilai kekerasan naik seiring naiknya temperatur austenitasi. Hasil paling baik didapat dari spesimen heat treatment quenching di media pendingin oli pada temperatur austenitasi 830°C dengan nilai kekerasan 458 BHN, tidak ada *Crack* yang terjadi dan memiliki nilai elongasi yang paling rendah yaitu 0,43%, sehingga bisa tahan pada temperatur kerja. Struktur mikro yang dihasilkan berupa martensit dan austenit sisa. Dari pengujian XRD didapatkan fasa Fe1.91 C0.09 yang merupakan Martensit dengan struktur BCT dan Fe15.1 C yang merupakan Austenit dengan struktur FCC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herring, Daniel.2012. *Quench Cracking*. Industrial Heating.
- [2] ASM. 1997. *ASM handbook vol 17 Non Destructive Evaluation and Quality Control*. ASM International
- [3] Calister, William D. 2000. *Materials Science and Engineering*. Departement of Metallurgical Enggining The University of Utah
- [4] Herring, Daniel.2005. *Retained Austenite*. Industrial Heating
- [5] Agustianto, Arief. 2011. *Analisa Kegagalan dan Pengaruh Proses Hardening-Tempering AISI 1050 Terhadap Strukturmikro dan Kekuatan Sebagai Langkah Peningkatan Kualitas Marine Chains Bucket Elevator 02-m-308 PT. Petrokimia Gresik* Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Totten, G. E. 2007. *Steel Heat Treatment*. Boca raton,FL. CRC Press
- [7] Hanguang, Fu. 2009. *Effect of quenching temperature on structure and properties of centrifugal casting high speed steel roll*. Jurnal China Foundry
- [8] ASM. 1991. *ASM handbook vol 4 Heat Treating*. ASM International.
- [9] Thelning, Karl-Erik.1975. *Steel and Its Heat Treatment*. London: Butterworths.